

I-81 降伏棚域における繰り返し塑性挙動の推定

武蔵工業大学 正員 皆川 勝
 武蔵工業大学 正員 西脇 威夫
 武蔵工業大学 正員 増田 陳紀

1. はじめに

著者らは、繰り返し荷重を受ける各種構造物あるいは構造部材の履歴挙動を推定する基本となる、繰り返し塑性モデルを提案した[1]。提案モデルが軟鋼および高張力鋼の引張圧縮履歴応力-ひずみ関係の推定に有効であることは、 10^{-2} (数万 μ) のオーダーのひずみが繰り返される場合について、実測結果との比較から確認されている。しかし、現実に構造部材に発生する頻度がより高いと考えられる 10^{-3} (数千 μ) のオーダーのひずみが繰り返し生じる場合については、検討の範囲から除外しており、このようなひずみ範囲における繰り返し塑性挙動を調べた他の研究例も著者の知る限り見当たらない。そこで、本研究では、このようなひずみ範囲に対して提案モデルを適用した結果を提示し、実測結果との比較によってモデルの有効性を示す。

2. 繰り返し塑性モデルの概要[1]

履歴応力-ひずみ挙動は主応力空間に定義された曲面の拡大・縮小ならびに移動によって表現される。各々の曲面はその大きさを表す関数 κ と、中心座標を表すベクトル $\{\alpha\}$ によって定義される。 κ および $\{\alpha\}$ は履歴の進展を示す状態変数である累積相当塑性ひずみ $\bar{\epsilon}$ および相当塑性ひずみ増分 $\bar{\epsilon}_0$ の関数である。

ここで、 $\bar{\epsilon}_0$ および $\bar{\epsilon}$ は次式で定義される。

$$\bar{\epsilon}_0 = \int_{t_0}^{t_i} d\bar{\epsilon}_0, \quad \bar{\epsilon} = \int_{t_0}^{t_i} d\bar{\epsilon} \quad (1)$$

すなわち、 $\bar{\epsilon}_0$ は負荷が開始した時点 t_0 から、最近に除荷が生じた時間 t_i までの相当塑性ひずみの累積量である。また、 $\bar{\epsilon}$ は時間 t_0 からある時間 t_i まで多曲面の外側へ向かって単調に載荷した時の相当塑性ひずみの増分量である。状態変数のひとつである累積相当塑性ひずみは、“ある応力-ひずみ経路において生じる相当塑性ひずみのうち、それまでに生じた相当塑性ひずみ幅 $\Delta\bar{\epsilon}$ の最大値を越える量のみを累積した量”と定義される。

曲面の拡大および縮小を表す κ は、次式によって定義される。

$$\kappa = W_i \kappa_i + (1 - W_i) \kappa_{i-1} \quad i=1 \sim N_b \quad (2)$$

ここで、 κ_i および κ_{i-1} は基本曲面サイズ関数であり、 W_i は履歴による曲面サイズの変化を表す重み関数である。また、 N_b は重み関数の境界数である。

3. 材料特性の評価

材料特性は、単調引張試験と唯一回の荷重反転のある引張圧縮試験から決定することができる。用いた材料はSH50Aである。Table.1に供試材の機械的性質と化学成分を示す。Fig.1は、試験片の形状と寸法である。

Fig.2に材料特性を決定するために実施した試験の結果を応力-塑性ひずみ曲線で示す。また、Fig.3はこれらの測定結果から決定された基本曲面サイズ関数である。なお、重み関数は、累積相当塑性ひずみに対して直線的に減少すると仮定している。

4. 数値計算結果と実測結果との比較

弾塑性有限要素解析によって、丸棒がひずみ制御のもとで繰り返しひずみを受ける場合の履歴応力-ひずみ関係を計算した。また、計算結果の妥当性の検証のため、3.で示した試験とは別に載荷試験を実施してそれらの関係を実測により求めた。これらを比較してFig.4に示す。また、提案モデルの基本となったPopovらによるモデル[2]を用いた数値計算結果も併せて示した。また、これらの数値計算結果の実測結果との差を文献[1]で定義した誤差量により図中に示した。Popovらのモデルによる計算結果は、弾性挙動を示す応力範囲が実測結果に比べて大きく、また、ひずみ硬化の程度も実測結果とはかなり異なるため、誤差量は10%

Table.1 Mechanical properties and chemical compositions.

	Tension test			Chemical composition %					
	Y.P. (Mpa)	T.S. (Mpa)	EL. (%)	C	Si X100	Mn	P	S X1000	Ceq X100
SM50A	353	529	28	16	33	145	16	2	14

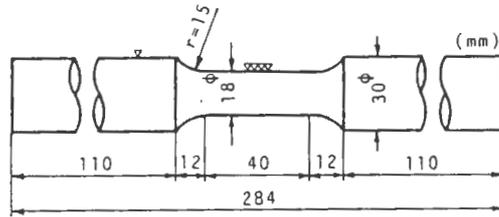


Fig.1 Configuration of specimens.

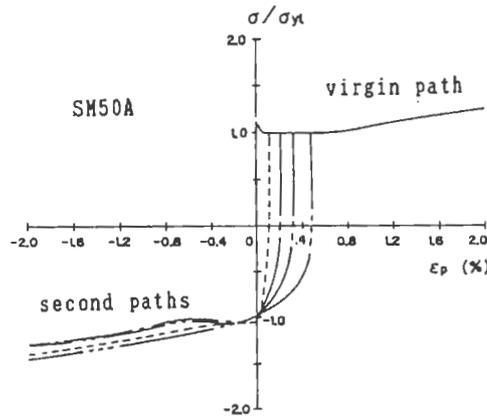


Fig.2 Experimental stress-plastic strain relations for estimating material property functions.

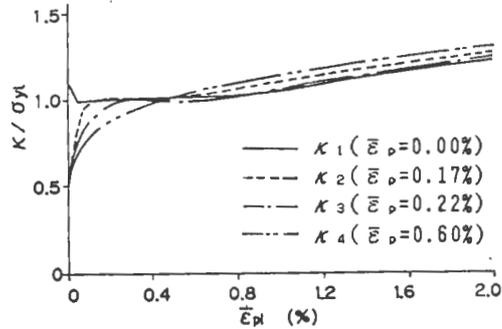
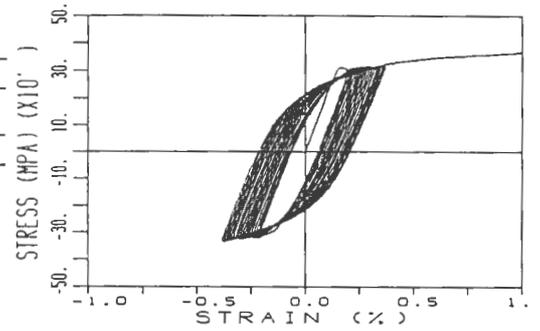
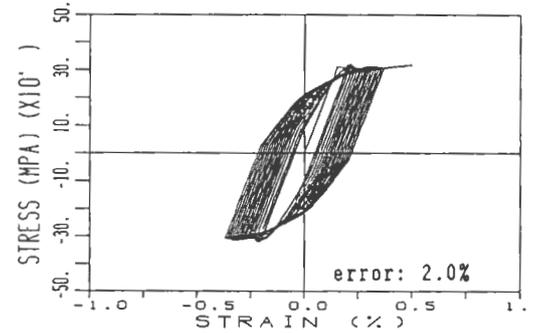


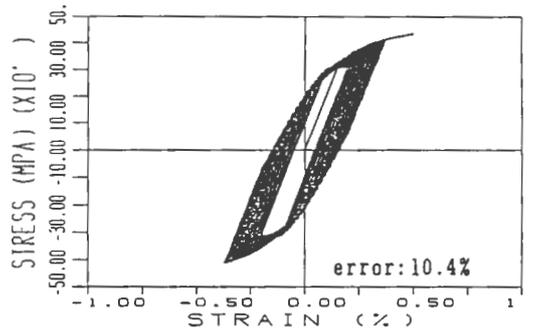
Fig.3 Fundamental surface size functions.



(a)Experiment.



(b)Calculation by the proposed model.



(c)Calculation by Petersson-Popov model.

Fig.4 Comparison of stress-strain relations.

に違した。それに対して提案モデルによる計算結果は忠実に実測結果を表現し得ており、誤差量もただか数%である。また、他の載荷パターンに対しても同様の結果が得られており、 10^{-3} のオーダーのひずみ履歴を受ける鋼材の繰り返し塑性挙動の推定に対しても提案モデルが有効であることが示された。

- 参考文献 1) Minagawa, M., Nishiwaki, T. and Masuda, N.: Modelling cyclic plasticity of structural steels, Proc. of JSCE, No.386/I-8, pp.145-154, October 1987.
 2) Petersson, H. and Popov, E.P.: Constitutive relation for generalized loadings, Proc. of ASCE, Vol.103, No.EM4, pp.611-627, 1977.